

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДУ АГРЕГАЦІЇ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

На сьогоднішній день одним з найпоширеніших підходів до синтезу регуляторів електромеханічних систем є застосування апарату нечітких множин та нечіткої логіки. Однією з навагоміших властивостей такого підходу є надзвичайно велика кількість ступенів вільності, які дозволяють забезпечити належне адаптування системи до різних режимів та умов роботи. Такими ступенями свободи, зокрема, є вибір моделі вводу-виводу, методів фазифікації, агрегації, акумуляції, дефазифікації, вибір бази правил тощо.

Вплив методів фазифікації, дефазифікації, вибору бази правил досліджено, наприклад, в роботах [1, 3, 4, 6, 7]. При дослідженні агрегації (див. напр. [5]) переважно, в порівнюють вихід регулятора, а не аналізують вплив досліджуваного ступеня вільності на характеристики системи. Дана робота присвячена дослідженню впливу методу агрегації на поведінку динамічної системи. Щодо способів агрегації, то автори пропонують скористатися доволі вичерпним переліком методів агрегації котрий наведено в [9] та подано у табл. 1. Слід зазначити, що багато цих методів залежать від невідомого параметра, що забезпечує системі додатковий ступінь свободи.

Таблиця 1

Методи агрегації ( $t$ -норми  $T(a, b)$ )

№	$t$ -норма	Значення параметрів, при яких проводилось дослідження
1	$\min(a, b)$	
2	$a \cdot b$	
3	$\max(0, a + b - 1)$	
4	$\max(0, a^{-p} + b^{-p} - 1)^{-\frac{1}{p}}, \quad p \in (-\infty, \infty),$	4.1 $p_1 = -100$ ; 4.2 $p_2 = -2$ ; 4.3 $p_3 = 2$ ; 4.4 $p_4 = 100$ .
5	$\frac{ab}{\gamma + (1-\gamma)(a+b-ab)}, \quad \gamma \in (0, \infty),$	5.1 $\gamma_1 = 2$ ; 5.2 $\gamma_2 = 100$ .
6	$\log_s \left[ 1 + \frac{(S^a - 1)(S^b - 1)}{S - 1} \right], \quad S \in (0, \infty),$	6.1 $S_1 = 2$ ; 6.2 $S_2 = 100$ .
7	$1 - \min \left[ 1, \left( (1-a)^w + (1-b)^w \right)^{\frac{1}{w}} \right], \quad w \in (0, \infty),$	7.1 $w_1 = 2$ ; 7.2 $w_2 = 100$ .
8	$\frac{ab}{\max(a, b, \alpha)}, \quad \alpha \in (0, 1),$	8.1 $\alpha_1 = 0.3$ ; 8.2 $\alpha_2 = 0.7$ .
9	$\frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{1}{a} - 1 \right)^\lambda + \left( \frac{1}{b} - 1 \right)^\lambda \right]^{\frac{1}{\lambda}}}, \quad \lambda \in (0, \infty),$	9.1 $\lambda = 2$ ; 9.2 $\lambda = 100$ .

Легко пересвідчитись, що значення  $t$ -норм наведених в цій таблиці при конкретних значеннях параметрів відрізняються, тобто вибір  $t$ -норми як одного з ступенів вільності є актуальним питанням. Зокрема для моделі Такагі-Сугено було розглянуто випадок модельної бази правил, що складається з восьми правил

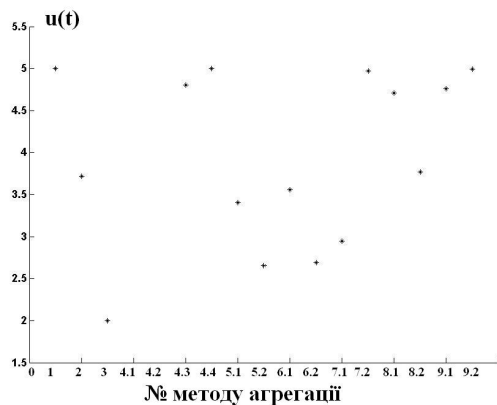


Рис. 1.

функції-висновки яких є константами, у випадку коли фазифікація проводиться за допомогою функцій належності  $S(e; 0.4, 0.6)$  та  $Z(e; 0.4, 0.6)$  (див. [8]), а значення відповідних трьох чітких змінних вибрано так, щоб активними були усі вісім правил одночасно. Дефазифікацію проводили спрощеним гравітаційним методом. Значення вихідної чіткої змінної в залежності від методу агрегації наведено на рис. 1. Слід зазначити, що аналогічні результати було одержано для бази з чотирьох, шести та дев'яти правил у випадку коли одночасно активними є не менше чотирьох правил для випадків двох та трьох вхідних змінних. У випадку ж коли активними одночасно є

Чіткий результат нечіткої моделі лише два правила, вибір методу агрегації не впливає на результат.

Легко пересвідчитись, що для випадків 4.1 та 4.2 для вибраної бази правил та вхідних значень змінних, усі значення правдоподібності умов кожного з правил дорівнюють нулю, тобто вихідний результат нечіткого моделювання неможливо визначити.

Однак, у випадку прикладного застосування теорії нечітких множин для синтезу керуючих впливів цікавим є вплив агрегації не на вихідний сигнал синтезованого регулятора в окремій точці, а на характеристики системи загалом. Дослідження будемо проводити на прикладі двомасової моделі дугової сталеплавильної печі (ДСП). Детальний опис такої моделі наведено в [2]. При синтезі нечіткого регулятора (типу Такагі-Сугено) системи було проведено фазифікацію за напругою дуги та напругою на виході тиристорного перетворювача, а інші змінні вектору станів не фазифікують. Кількість термів для кожної змінної рівна трьом, дефазифікацію проводили спрощеним гравітаційним методом.

Для порівняння впливу досліджуваних ступенів свободи на характеристики динамічної системи застосуємо відомі інтегральні показники якості – ISE, ITSE, ITAE, IAE (1), відповідно, а також узагальнений інтегральний показник якості (2).

$$I_1 = \int_0^T e(t)^2 dt, \quad I_2 = \int_0^T t e(t)^2 dt, \quad I_3 = \int_0^T t |e(t)| dt, \quad I_4 = \int_0^T |e(t)| dt, \quad (1)$$

$$I = 0.25 \sum_{i=1}^4 I_i \quad (2)$$

Результати обчислень значення відповідних інтегральних показників якості залежно від методу агрегації наведено в табл. 2. Слід зазначити, що у всіх цих випадках перерегулювання у системі відсутнє.

Таблиця 2

Значення інтегральних показників якості (1)–(2) в залежності від методу агрегації

Інт. пок. як.	Номер методу агрегації з табл. 1														
	1	2	3	4.3	4.4	5.1	5.2	6.1	6.2	7.1	7.1	8.1	8.2	9.1	9.2
$I_1 \cdot 10^5$	2,192	2,190	2,178	2,192	2,192	2,190	2,188	2,190	2,188	2,189	2,192	2,192	2,190	2,192	2,192
$I_2 \cdot 10^6$	2,692	2,687	2,656	2,691	2,692	2,686	2,682	2,686	2,681	2,684	2,692	2,691	2,687	2,691	2,692
$I_3 \cdot 10^4$	5,240	5,241	5,203	5,240	5,240	5,240	5,239	5,241	5,236	5,241	5,240	5,241	5,241	5,240	5,240
$I_4 \cdot 10^3$	2,949	2,948	2,935	2,949	2,949	2,948	2,946	2,948	2,946	2,947	2,949	2,949	2,948	2,949	2,949
$I \cdot 10^4$	8,745	8,743	8,700	8,745	8,745	8,742	8,738	8,742	8,736	8,741	8,745	8,745	8,743	8,745	8,745

Наведені у табл. 2 результати свідчать, що для досліджуваної системи у процесі синтезу нечіткого регулятора можна знехтувати принаймні одним ступенем свободи, адже вплив вибору методу агрегації та його параметрів на поведінку системи практично відсутній.

Одержаний результат суттєво спрощує процес подальших досліджень питання вибору ступенів свободи нечіткого регулятора, втім ця проблема потребує інтегрованого рішення. Питання комплексного дослідження залежності впливу вибору значень ступенів свободи на синтезований нечіткий регулятор та поведінку керованої ним динамічної системи буде предметом подальшого вивчення авторів.

1. Лозинський А.О. Дослідження впливу вигляду функції належності на динамічні показники системи при багатокритеріальній оптимізації зі змінними ваговими коефіцієнтами / А.О. Лозинський, Л.І. Демків // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — 2012. — № 5. — С. 137-144.

2. Марущак Я.Ю. Динаміка двомасових систем стабілізації режиму в електродугових печах / Я.Ю. Марущак, А.О. Лозинський, А.П. Кушнір - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. - 224 с.

3. Alejandro Aceves-Lopes A simplified version of Mamdani's fuzzy controller: the natural logic controller / Alejandro Aceves-Lopes, Joseph Aguilar-Martin // IEEE Transactions on fuzzy systems. -2006. - V. 14.No. 1. — P. 16-30.

4. Hu B.G. A systematic study of fuzzy PID controllers function based evaluation approach / Hu B.G., Mann G.K.I., Gosine R.G. // IEEE Trans. on fuzzy systems. — 2001. — V. 9.No. 5. — P. 699-712.

5. Bova S. A logical analysis of Mamdani-type fuzzy inference, I theoretical bases / S. Bova, P. Codara, D. Maccari, V. Marra // IEEE Int. conf. on Fuzzy Systems. — 2010. — P. 1-8.

6. Koprinkova P. Membership function shape and its influence on the dynamical behavior of fuzzy logic controller / P. Koprinkova // Cybernetics and Systems: An International Journal. — 2000. — No. 31. — P. 161-173.

7. Pham D.T. Action aggregation and defuzzification in Mamdani-type fuzzy system / D.T. Pham, M. Castellani // Proc. I.Mech.E. — 2002. — V. 216. — P. 747-759.

8. Piegat A. Modelowanie i sterowanie rozmyte / A. Piegat — Warszawa: "Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT", 2003. — 678 p.

9. Yager R.R. Essentials of fuzzy modeling and control / R.R. Yager, D.P. Filev - New York: John Wiley & Sons, 1994.